

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматизації та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

«__»_____ 2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6. 050201 «Системна інженерія»
на тему: «Автоматизована система управління виробництвом пива»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІА-51
Шулик Віталій Юрійович

Керівник:

Доцент, к.т.н. Долина В.Г.

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 рік

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Автоматизована система управління
виробництвом пива»**

Київ – 2019 рік

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	6
2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	7
3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ.....	8
3.1 Сировина.....	8
3.1.1 Спосіб видалення мікроорганізмів.....	8
3.2 Приготування сусла з солоду.....	9
3.2.1 Комбінування	9
3.2.2 Подрібнення.....	10
3.2.3 Затирання	10
3.2.4 Фільтрування	12
3.2.5 Кип'ятіння сусла	15
3.2.6 Освітлення та охолодження сусла.....	16
3.2.7 Бродіння пива	17
3.2.8 Глибоке охолодження пива.....	18
3.3 Опис технологічного устаткування.....	18
3.4 Принципи побудови системи.....	23
3.4.1 Елементи управління системою	23
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ	25
4.1 Розробка структурної схеми системи	25
4.2 Розробка структурної схеми системи управління виробництвом пива	26
4.3 Розробка структурної схеми ділянки подрібнення.....	27
4.4 Розробка структурної схеми ділянки затирання.....	28

					ІА51.320БАК.005 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шулик В.Ю.			Автоматизована система управління виробництвом пива. Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Долина В. Г.				Т	2	62
Т.Контр.						ФІОТ АУТС ІА-51		
Н. Контр.								
Затв.								

4.5 Розробка та опис алгоритму роботи блока управління процесом затирання	28
5 ВИБІР ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ.....	30
5.1 Вибір індикатора рівня	30
5.2 Датчики температури.....	34
5.3 Вибір індикатора тиску	38
5.4 Вибір датчика верхнього та нижнього рівнів	40
5.5 Вибір витратоміра	43
6 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ	48
6.1 Розрахунок вибору елементів підключення	48
7 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ	49
7.1 Дослідження стійкості системи	49
7.2 Синтез системи	56
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління;

АСУТП ВП – автоматизована система управління виробництвом пива;

ЦКТ – циліндроконічний танк;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтролер;

ПКП – послідовний коректуючий пристрій;

САУ – система автоматичного управління;

АФЧХ – амплітудно-частото-фазова характеристика;

ПД – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Пивоваріння відноситься до важливих галузей харчової промисловості. Проте, існує багато параметрів, через які знижується ефективність управління процесом пивоваріння. Зараз у пивоварній промисловості застосовуються як і передові технології, так і локальний контроль, що призводить до великої різниці між затратами на виробництво та його ефективністю.

В Україні існують як малі пивоварні, які варять пиво за власними рецептами, так і великі, які випускають пиво під відомими на весь світ марками. Проте, починаючи з 2013 року, кількість пивоварень почала значно скорочуватися через неякісну продукцію, або ж велику конкуренцію на ринку. Завдяки цьому, найстійкіші виробники пива в Україні посилили свій вплив на ринку.

Зараз спостерігається тенденція посилення конкурентоспроможності пивного ринку України в світі через дешевизну вітчизняного пива, оскільки в процесі пивоваріння використовується власний солод та власні потужності.

Чим більше часу проходить, тим більше необхідно впроваджувати нові технології. Для того, щоб отримати максимальну якість пива та не втратити економічну користь, потрібно впроваджувати інновації.

Технологія виготовлення пива – це дуже складний як фізичний, так і економічний процес. Оскільки система поділена на різні процеси, виникає питання про контроль над кожним з них. Людина самотійно не зможе впоратися з таким масштабом роботи. В цьому якраз і є головна суть автоматизації системи.

АСУ ВП забезпечить плавну та якісну роботу усіх систем виробництва, заощадить необхідні кошти та полегшить роботу працюючого персоналу.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

Система призначена для контролю за процесом пивоваріння на різних етапах, починаючи від приготування пивного сусла до його фільтрування, забезпечення якості готової продукції та зменшенню витрат.

Система може бути використана в будь – якій пивоварні за для досягнення кращого результату в процесі пивоваріння та заощадження коштів для конкурентоспроможності на ринку.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Система управління виробництвом пива та її окремі компоненти мають відповідати наступним вимогам:

- діапазон вимірювання температури має бути від +5 до +100 °С;
- напруга живлення не силових модулів системи +12В;
- напруга живлення силових модулів системи ~220В або ~380В;
- інтерфейс зв'язку між блоками і модулями – RS-485;
- напруга живлення елементів системи – не менше 12 В;
- точність вимірювання – 1%;
- похибка – не більше 0,1%;
- похибка регулювання контуру – не більше 0,05%;
- перерегулювання – до 20%.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ

Для розробки системи управління потрібно розуміння всього процесу пивоваріння. Найголовнішим в виробництві будь – якого продукту є сировина. Розглянемо окремі частини процесу. Головними процесами будуть слугувати приготування пивного суслу, бродіння пива, його фільтрація та стабілізація.

3.1 Сировина

Для приготування пива потрібно 4 типи сировини: ячмінь, хміль, вода та дріжджі. Якість такої сировини напряду впливає на якість кінцевого продукту. Якщо ячмінь можна замінити на зернопродукти, то воду замінити неможливо. Розглянемо процес підготовки води.

У більшості випадках вода не відповідає стандартам якості та потребує покращення. Але є різні аспекти підготування води, в залежності від того, де вона буде використовуватися. Можна виділити такі методи підготовки води:

- для видалення мікроорганізмів;
- для видалення розчинених у воді газів;
- для зменшення залишкової кислотності води;
- для видалення розчинених речовин;
- для видалення зважених часток.

3.1.1 Спосіб видалення мікроорганізмів

Вода, що використовується в пивоварінні, повинна відповідати нормам для питної води. Для цього використовують такі методи знезараження:

- ультрафіолет;
- фільтрування;
- озонове знезараження;

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- хлорування.

Ультрафіолет, при потраплянні у воду, вбиває всі мікроорганізми, які потрапили під його дію. Такий метод екологічно чистий та надійний хоча доволі затратний на апаратуру, а в деяких випадках навіть шкідливий. Товщина шару ультрафіолету повинна бути невеликою та в ідеалі чистою, оскільки помутніння не дають змогу променям ультрафіолету проходити через себе. Таким чином збільшується час знезараження, а з ним і доза опромінення, що є шкідливим для будь – якого продукту харчування.[1]

3.2 Приготування суслу з солоду

Процес приготування суслу можна розбити на декілька етапів:

- комбінування різних сортів солоду (купаж);
- подрібнення солоду;
- змішування солоду з водою (затирання);
- фільтрація;
- кип'ятіння;
- охолодження;
- зброджування;

3.2.1 Комбінування

Існує чотири види купажу для пивних продуктів. В даному випадку розглянемо багатосортове комбінування. Таке комбінування є найскладнішим в плані реалізації. Його суть в тому, що зовсім різні види пива змішуються для отримання нового оригінального смаку пива.[2]

Повністю закріпленої технології купажу пивного солоду наразі не існує. Для виготовлення будь-якого сорту пива потрібно використовувати різні види спиртних напоїв одного типу, але різного походження. Завдяки цьому досягається пиво, смак якого буде кращим, ніж сума його компонентів.

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним критерієм купажування пивного солоду є особисті якості людини. Якщо вдається змішати усі компоненти виробу, створюється цілком новий та унікальний смак пивного продукту.

3.2.2 Подрібнення

Для того, щоб солодові ферменти могли розчепити зернову сировину, зернові продукти потрібно подрібнити. Існує два види подрібнення: сухий та попередньо зволожений. При попередньому зволоженні збільшується швидкість фільтрації. При будь – якому методі подрібнення зернова маса не повинна стати однорідною, обов'язково повинні бути як великі, так і малі зернові частки. Також потрібно зберігати цілісність оболонки самого зерна. Вона слугуватиме як фільтруюче поле.[3]

Кількість солоду, що застосовується на варку, називається засипкою. Подрібнення солоду залежить від ступеню його розчинення. При гарно розчиненому солоді підвищується вміст муки та мілкої крупи. В них добре проникають ферменти, а речовини, що будуть отримані в кінці, добре перетворюються в розчин. Велика крупка погано віддає свій екстракт, тому в кінцевому продукті буде менше потрібної нам речовини, оскільки вона розчепиться не повністю. [4]

Кількість готової речовини напряду залежить від товщини подрібнення. Отже, чим менший розмір подрібнення, тим менше кінцевої дробини буде отримано. З іншої сторони, чим меншою буде дробина, тим меншою буде і пористість фільтрувального шару, а це дає змогу йому швидше отримати потрібну щільність, а це збільшує час процесу фільтрування.

3.2.3 Затирання

Затирання – процес змішування пивного сусла з водою. Подрібнений пивний солод засипають в заторний котел та нагрівають до температури від 40 до 80 °С. Загальноприйнята температура нагрівання солоду 78 °С. Під час

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затирання усі натуральні ферменти, які знаходяться в солоді, розчіплюють крохмали, які після закінчення процесу, стають спиртами. Цей процес триває від 1 до 2 годин. Контроль над температурою здійснюється двома способами:

- поступове підвищення або зниження температури;
- задання сталої конкретної температурної планки на весь період затирання.

Для нагрівання в більшості пивоварень використовується пар.

Процеси, які задіяні при затиранні можна поділити на два типи: біохімічні та фізичні. Біохімічний процес – це процес розчеплення. Крохмал, який знаходить в речовинах, не можна розчинити звичайною водою. Тут потрібна допомога ферментів. Також звичайні білки не можуть бути розчинені у воді. Для того, щоб отримати амінокислоти з білків, витримуються температурні паузи.

Під дією температури, структура ферментів змінюється. При нагріванні швидкість руху молекул зростає, а разом з нею і активність ферменту. При досяганні контректної температури, яка для кожного фермента є різною, виникає розрив структури молекули, тобто фермент перестає працювати. При досягненні оптимальної температури активність фермента досягає своєї максимальної планки, а після збільшення чи зменшення температури настає процес поступової деактивації фермента. При чому, при більш низьких температурах активність з часом майже повністю зберігається, а от при високих дуже швидко спадає.[5]

Розчинні речовини, такі як цукор, декстрини, мінеральні речовини та деякі білки не потребують додаткових ферментів, вони самі здатні перейти в екстракт. З процесом розчеплення крохмалу можна спостерігати деякі труднощі, оскільки це речовина, яка сама по собі не може розчинитися. Для його розчеплення потрібно використати три етапа, при чому послідовність цих етапів міняти місцями не можна[6].

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Перший етап – етап клейстеризації. Це етап, при якому розчеплення речовин не відбувається. Його суть в тому, що в молекулах крохмалу накопичується вода, що призводить до збільшення та набухання початкових молекул крохмалу. Після набухання, молекули крохмалу розриваються та утворюють вогкий розчин. Температура для клейстеризації різна для різних видів зерна:

- солод та ячмінь 60°C;
- рисовий крохмал 85°C.

Другий етап – етап розжирення. Розжирення – процес зниження в'язкості клейстеризованого крохмалу α -амілазою. Сам крохмал складається з довгих ланцюжків глюкозних залишків, які під час розжирення дуже швидко розриваються.

Останній етап – оцукровування. Оскільки вода ще залишилася в крохмалі, її потрібно нагріти до температури 62-65 °C. саме при такій температурі починають діяти ферменти, що дорозчеплюють білок. Такий процес повинен тривати приблизно 30 хвилин, оскільки це час, за який бета амілаза діє найбільш ефективно.[5]

3.2.4 Фільтрування

В кінці процесу затирання створюється затор, який складається з суміші розчинених та нерозчинених у воді речовин. Фільтрування – це процес розділення суслу, яке і стане в кінцевому результаті пивом, від дробини. Процес фільтрування затору проходить в два окремих етапи:

- збір первинного суслу;
- промивання води.

Збір первинного суслу проводять шляхом стікання води з дробини, в якій залишився екстракт. Після стікання дробину промивають, оскільки це сприяє досягненню максимально вигідного економічного ефекту. Кількість води для

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промивання залежить від кількості та концентрації первинного суслу, тобто, чим більше води проходить через дробину, тим кращий буде вихід екстракту.

Етап промивання води триватиме до того часу, поки в котлі не буде отримана потрібна концентрація суслу. Якщо ж останній процес повторювати багато раз, то буде збільшений вихід екстракту, але буде знижено якість пива.

Для фільтрування пива використовуються наливні, пластинчасті та мембранні фільтри.

Наливні фільтри – фільтри, в яких фільтрування виконується через додаткову допоміжну речовину, яка наливається на фільтрувальну перегородку. Наливання такого шару потрібне для того, щоб утримати частки, які будуть проходити через фільтрувальне сито, оскільки їх розмір дуже малий.

Розглянемо два етапи процесу:

- нанесення фільтруючого шару;
- фільтрування з заданим дозуванням.

Фільтруючий шар наноситься на сито таким чином, щоб крізь нього не зміг пройти кисень. Кожне потрапляння кисню в пиво при фільтруванні може нанести значно більше шкоди, ніж перед ним. Цьому можна запобігти такими методами:

- уникнення звужень поперечного перерізу трубопроводів;
- створити достатньо великий надлишковий тиск перед фільтрувальним насосом;
- видалення з трубопроводів повітряних подушок;
- уникнути затягнення кисню при опорожненні танка;
- для протитиску використовувати вуглекислий газ;
- уникати домішування до пива збагачені на кисень домішки;
- використовувати спеціальні шайби та розрідники потоку на виході.

Дозування речовини проводиться за допомогою спеціальних дозаторів. Пиво має подаватися до дозуючого насосу під надлишковим тиском, для того, щоб не було витоків вуглекислого газу.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розберемо побудову та принцип дії дозатора. Дозатор складається з бака, мішалки з приводом для гомогенного перемішування суспензії. Також присутній відцентрований насос, так як необхідно прогнати велику кількість рідини. Дозування виконується мембранним насосом. Вміст бака має знаходитися під невеликим надлишковим тиском вуглекислого газу. Такий дозатор є невід'ємною частиною кожного наливного фільтра, в незалежності від того, про який фільтр іде мова. [4]

Наливний патронний фільтр – це циліндрична вертикальна посудина з конусоподібним дном. Така форма дна спроможна витримати надлишковий тиск. Під кришкою фільтра знаходиться перфорована пластина, до якої прикріплені фільтруючі свічки (перегородки, на які наливається допоміжна фільтруюча речовина).

Принцип дії:

- фільтр заповнюється водою або фільтруючим пивом, повітря витискається;
- на перегородки наливається допоміжна речовина, лише перший та другий попередні шари;
- після закінчення наливання, рідина циркулює 10-15 хвилин;
- вода витісняється пивом, розпочинається процес фільтрування;
- піднімається різниця тисків, фільтрування проходить з постійним неперервним процесом нанесення допоміжної речовини;
- пиво витісняється водою, завершення фільтрування;
- видалення допоміжної речовини зі свічок методом подачі стисненого повітря;
- миття установки фільтрування;
- стерилізація гарячою водою.

При фільтруванні, як і при будь – якому іншому процесі, можливі технічні проблеми. Невелика помилка може привести до повного краху системи. Основні джерела проблем при фільтруванні [4]:

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- надмірно низька або надмірна висока швидкість потоку;
- нерівномірне розподілення попередніх шарів допоміжної речовини;
- виділення газу;
- проблеми з герметизацією.

3.2.5 Кип'ятіння сусла

При кип'ятінні сусла з хмелем отримують охмелене сусло. Сусло, отримане на виході більш концентроване, ніж початкове, та не містить жодних активних ферментів. Необхідну екстрактність отримують в процесі обробки готового охмеленого сусла паром. Випаровування надлишкової кількості води обов'язковий процес, оскільки об'єм сусла збільшується на кількість води, що в свою чергу зменшує його концентрацію.[3]

При кип'ятінні сусла проходять важливі для отримання кінцевого продукту процеси:

- розчинення та перетворення компонентів хмелю;
- випаровування води;
- стерилізація сусла;
- знищення усіх ферментів;
- насичення сусла кольором;
- підвищення кислотності.

Розчинення та перетворення компонентів.

Для того, щоб отримати пиво, необхідні деякі хмелеві компоненти: смоли, хмелеве масло. Смоли, або гіркі речовини хмелю надають пиву гіркоти, тому вважаються найважливішими для приготування пива. Хмелеве масло потрібно для того, щоб надати кінцевому продукту кращого аромату.[4]

Важливим етапом пивоваріння також є випаровування води (вологи). В результаті випаровування вологи збільшується вміст сухих речовин сусла, оскільки щільність сусла разом з промивними водами зазвичай нижча, ніж потрібна величина для будь – якого сорту пива.[7]

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки випаровується лише вода, екстрактність сусла збільшується разом із збільшенням ступеню випаровування. Проте з пилукою з солоду в затор потрапляє велика кількість різних мікроорганізмів. Якщо їх не знищити, велика ймовірність того, що пиво дуже швидко втратить всі свої цінні речовини, тобто перейде в стан непридатного до вживання. При кип'ятінні всі такі мікроорганізми зникають.

3.2.6 Освітлення та охолодження сусла

При освітленні пивного сусла можна виділити два типи отриманих осадків:

- крупнозернисті частки лягають на дно щільними шарами, при цьому між освітленою речовиною та осадком встановлюється різка границя;
- осад сконцентрований в нижній частині апарата, а всі інші частки розділені рідиною.

При швидкому охолодженні охолоджене сусло починає швидко випадати в осад при температурі нижче 60 °С. Для відділення великих і малих часток гарячого сусла та часток холодного сусла пропонується охолодження в дві стадії:

- сусло помалу охолоджують при температурі до 60 °С;
- після швидко охолоджують до 5 °С.

Так як дріжджі зброджують сусло лише при низьких температурах, сусло потрібно швидко охолодити до 5 °С. Цього можна досягнути за допомогою пластинчатого холодильника. 5 °С – температура початку бродіння пива. Більшу температуру використовувати не рекомендується, оскільки можливий варіант розмноження небезпечних для пива організмів.

Коли перекачується гаряче сусло, небезпеки ще немає. Вона може виникнути лише в наступних стадія, коли сусло потрапляє до фільтрувального апарату та коли утворюються продукти обміну речовин.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі розглянемо принцип роботи пластинчастого холодильника.

В холодильнику здійснюється теплообмін між гарячим суслом та холодною водою. Сусло знаходиться з температурою близько 90 °С а охолоджується водою до температури бродіння (близько 5 °С). В результаті холодна вода нагрівається до регулюючої температури. Температура регулюється за допомогою великого об'єму води. [4]

3.2.7 Бродіння пива

Для того, щоб отримати справжній класичний смак пива, потрібно збродити дріжджами цукор в етанол, тобто спирт, та вуглекислоту. Це можна зробити двома способами: в бродильному та лагерному відділеннях. Таке бродіння можна вважати класичним, адже ці методи використовують на усіх пивоварнях протягом багатьох століть. Якщо ж брати сучасну пивоварню, то процес бродіння проходить в спеціальних циліндроконічних танках (ЦКТ).

Дріжджі - це живий організм, а, отже, як і всі інші живі організми, потребують певної енергії. Її можна отримати за допомогою дихання, процес якого розпочинається з розчеплення глюкози. Дріжджі засвоюють також жирні кислоти з сусла, хоча можуть їх синтезувати самостійно. Також вони потребують вуглеводів, які отримують з сусла (глюкоза та фруктоза), дисахариди та ін.[9]

Під час бродіння дріжджі виділяють в пиво велику кількість різних продуктів метаболізму, які в тому чи іншому випадку реагують одна з одною. В такому випадку можливі негативні ефекти під час одночасної реакції дріжджів та таких речовин, а це може негативно відгукнутися на якості пива. Тому такі процеси потрібно брати до уваги при бродінні пива.

Важливою частиною бродіння також є температура бродіння. Зазвичай, початкова температура складає 5-6 °С. В деяких випадках, коли потрібно пришвидшити процес або зробити тестову перевірку, такої температури буде недостатньо. Її потрібно підвищити на певний рівень. Для холодного бродіння

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

така температура становить 8-9 °С, для теплого – 10-15 °С. Її не можна підвищувати, адже усі процеси, які проходять під час бродіння можуть бути зіпсовані.

Процес бродіння проходить в два етапи: первинне та вторинне бродіння. Відразу після внесення в сусло дріжджів, розпочинається перший етап. Після 5-10 днів бродіння, закваска втрачає свою ефективність та осідає на дні у вигляді осаду. Пиво потрібно перелити в іншу ємність та зняти з осаду. Дріжджі, які залишилися, закінчують свою реакцію. Такий процес проходить близько 15 днів. Це другий етап бродіння. [9]

3.2.8 Глибоке охолодження пива

Більшість пивоварень перед фільтруванням пива проводять його глибоке охолодження. Такий процес дає змогу виділити холодне помутніння пива та стабілізувати його. Для цього процесу також використовується пластинчастий холодильник (теплообмінник), але при цьому температура охолодження варіюється від -2 до 3 °С. Але, для досягнення гарного результату, пиво потрібно витримати при такій температурі досить довгий період часу. Щоб пришвидшити цей процес, пиво потрібно витримати в відділенні доброджування не менше 7 днів при температурі від -2 до -1 °С.

3.3 Опис технологічного устаткування

Циліндроконічний танк (ЦКТ).

Після варіння сусло подається в ЦКТ знизу з одночасним внесенням дріжджів. В залежності від технологій бродіння, воно може йти як під тиском, так і без нього. Особливістю ЦКТ є те, що в ньому можуть проходити всі холодні процеси: бродіння і дозрівання пива.

Збір дріжджів проходить з конуса танка. Для готовності пива потрібно близько чотирьох тижнів. Якщо виготовляється нефільтроване пиво, то розлив

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може відбуватися безпосередньо з танка. В іншому випадку, пиво відправляється на фільтрацію, а вже потім на розлив.

Характеристики:

- вага – 670 кг;
- розміри – 1800х3460 см;
- запланований тиск – до 2 Бар;
- робочий тиск – 1,6 Бар;
- призначення, зберігання – пивне сусло, пиво;
- термоізоляція – мінеральна вата або пінополіуретан;
- матеріал – харчова нержавіюча сталь;
- робочий об'єм – 3000л;
- загальний об'єм – 3600л;
- рубашка охолодження – спіраль;
- конус – 60°;

Станом на 2019 рік на пивоварнях найчастіше використовують дробарки для сухого подрібнення. Оскільки в сучасних фільтр-пресах фільтрування виконується через серветки з поліпропілену з тонкими порами, тому доцільно буде використовувати молоткові дробарки. Для нашого випадку виберемо молоткову дробарку з вертикальним ротором.

Далі (рисунок 3.1) зображено дробарку типу “Vertica”. Вона складається з кожуха ротора, над яким знаходиться вертикальний привід. В пристрої для подачі розташований живильник з видаленням легких домішок. При високій швидкості ротора існує велика небезпека утворення іскри. Щоб цьому запобігти, в лінію для подачі встановлюється камневідбірник для відділення каміння та інших важких домішок. [4]

Вхідна речовина захоплюється та подрібнюється стальними пластинами і розділюються за допомогою циліндричного сита з маленькими отворами. Подрібнений матеріал потрапляє в воронку та видаляється через шлюзовий

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затвор (6). Вибухорозрядна перегородка (5) та труба для відведення (4) скидає назовню тиск, що утворюється при вибуху пилюки.

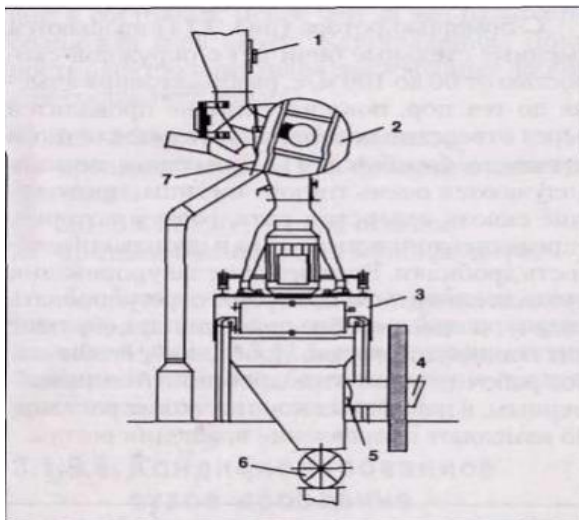


Рисунок 3.1 – Дробарка з вертикальним ротором типу “Vertica”

Заторні апарати.

Для досягнення максимальної ефективності під час затирання потрібно обрати правильний заторний апарат. Схема такого апарату представлена нижче (рисунок 3.2). [6]

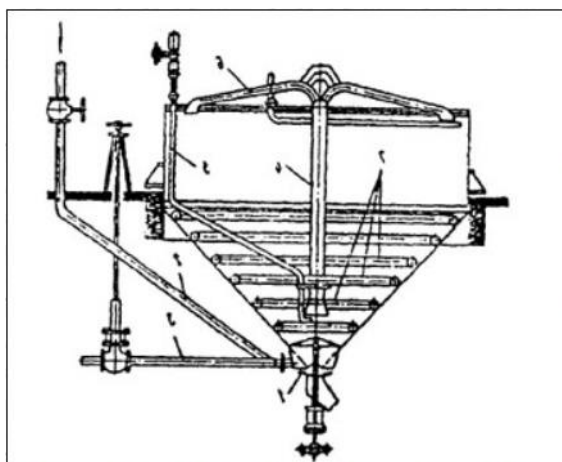


Рисунок 3.2 – Заторний апарат

Заторний чан вертикальний, з нержавіючої сталі та паровими рубашками.

- ємність – 2500 літрів;
- парові рубашки з подачою (діаметр 50 мм);
- мішалка з частотним приводом;
- максимальний тиск – 0.4 МПа;
- освітлення;
- пересувна драбина;
- роторна миюча головка.

Існує два методи фільтрування суслу:

- за допомогою фільтрувального апарату
- за допомогою фільтрувального пресу

Фільтрувальний апарат – стальний циліндр зі сферичною кришкою, витяжною трубою та плоским дном. На рівні 10 – 15 сантиметрів вище дна розташована змінна дно-сітка. Сам процес фільтрації займає 5 або більше годин. Фільтрувальний апарат представлений на рисунку 3.3

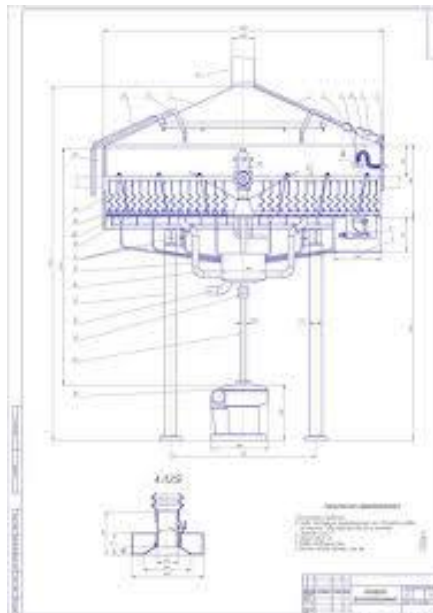


Рисунок 3.3 - Фільтрувальний апарат

При використанні фільтрувального пресу процес фільтрування здійснюється швидше, фільтрування займає біля 3,5 г. Також фільтрувальний прес допомагає досягнути більш тонкого помолу солоду та зерна.[2]

Для охолодження оберемо пластинчастий холодильник (рис. 3.4).

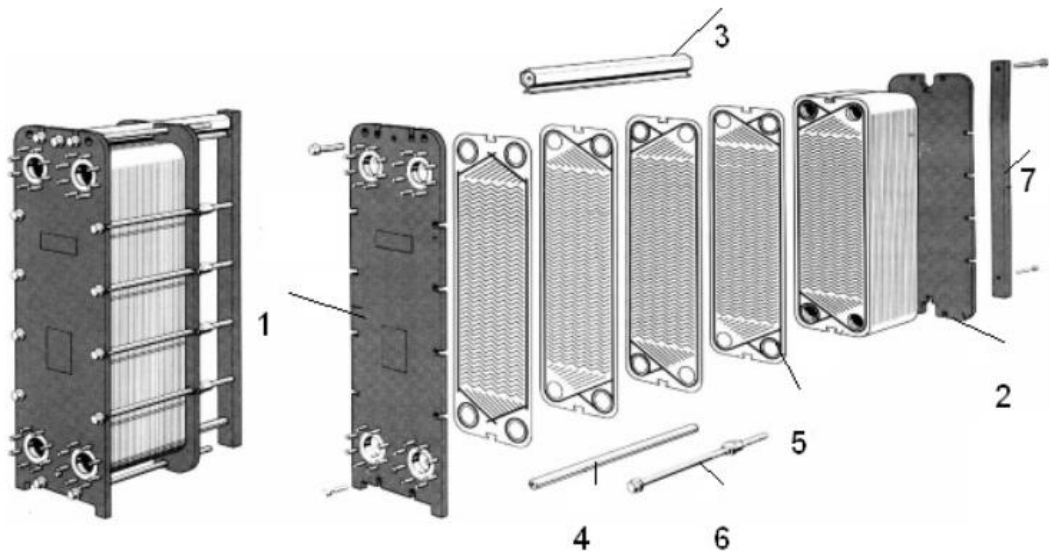


Рисунок 3.4 – Пластинчастий холодильник (теплообмінник)

Нерухома плита (1) та прижимна плита (2) – основа каркасу даного теплообмінника. Задня стійка (7) з'єднується з нерухомою плитою за допомогою верхньої (3) та нижньої (4) напрямляючої деталей. Пластини (5) знаходяться між нерухомою та прижимною плитами. Їх кількість розраховується відповідно до розмірів. Вся конструкція скріплена з прижимною плитою різьбовими стяжками (6). [9]

Головними перевагами вибору саме пластинчастого холодильника є:

- через невеликі розміри не потребує великої площі для розташування;
- легко очищується;
- сусло затримується в теплообміннику лише на деякий короткий проміжок часу;

- навіть при невеликих втратах тиску реалізовує потрібну теплопередачу.

3.4 Принципи побудови системи

Беручи до уваги попередній огляд, можна сформулювати основні принципи побудови системи. Автоматизована система управління виробництвом пива (АСУ ВП) повинна бути доцільною і містити елементи для досягнення максимальної ефективності виробництва.

Автоматизований контроль здійснюється з центрального пульта управління без постійної присутності та контролю персоналом. Система повинна бути підключена до безперервного джерела живлення. АСУ ВП повинна:

- Забезпечувати роботу технологічного устаткування без постійної присутності персоналу.
- Забезпечити мінімальну кількість ручних операцій
- Забезпечити високу надійність автоматичного керування за рахунок застосування сучасних технологій
- Забезпечити високу рентабельність
- Не допускати роботу апаратури в аварійних ситуаціях

3.4.1 Елементи управління системою

Головним елементом управління системою повинен бути контроль за часом. Система повинна забезпечити якісне та своєчасне виконання заданих команд, точно реалізовувати всі задані параметри. Також повинна забезпечити високу проведення усіх процесів окремо та кінцевого продукту в цілому. Розберемо деякі процеси окремо.

В цеху для варіння майже всі процеси виконуються паралельно, а це означає, що впоратися з управлінням дуже важко. Для цього можна

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використати програмоване управління з використанням пам'яті (SPS). При цьому, в систему інтегрується програма, яка повинна бути захищена від відключення електроенергії та несанкціонованого доступу. Робочі місця операторів з накопичувачами та кольорові дисплеї повинні бути використані для всіх процесів пивоваріння. Також обов'язковим є ведення баз даних.

При з'єднанні декількох етапів пивоваріння, можлива інтеграція програмного забезпечення на інші процеси, в результаті чого виникає повністю автоматизоване управління всіма етапами та технологічними процесами в системі.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ

Для створення системи управління і вибору її компонентів необхідно розробити структурні і функціональні схеми системи управління виробництвом пива.

4.1 Розробка структурної схеми системи

Технологічний процес складається з декількох ділянок. Перша ділянка включає в себе процес подрібнення солоду, до неї входять молотова дробарка з вертикальним приводом та бак. Друга ділянка включає процес затирання з використанням заторного апарату. Третя ділянка фільтрування включає в себе фільтрувальний апарат та фільтрувальний прес. Четверта ділянка кип'ятіння включає в себе чан та бак зливу. П'ята процес охолодження включає в себе пластинчастий холодильний та бак. Шоста ділянка бродіння. До неї входить ЦКТ.



Рисунок 4.1 – Структурна схема системи

4.2 Розробка структурної схеми системи управління виробництвом пива

Ефективнішим рішенням буде розробка однієї системи управління для усього процесу пивоваріння. Дане рішення дозволить централізовано керувати усім процесом виробництва. Також буде більш вигідно використовувати лише один пульт керування, а не по одному для кожного процесу окремо. Це допоможе зменшити витрати та збільшити ефективність виробництва в цілому. Оскільки доволі складно керувати такою системою на великій відстані, потрібно додати до її складу локальні блоки управління, які в свою чергу повинні бути розташовані близько до самої системи.

Центральним пультом буде слугувати персональний комп'ютер або промисловий контролер. Зв'язок між блоками і центральним пультом організований за допомогою шинного інтерфейсу.

Для ефективного управління усією системою необхідно розглянути кожен ділянку виробництва окремо, а також створити для кожної ділянки окрему підсистему управління. Розглянемо окремо кожен з шести ділянок АСУ ВП:

Управління ділянкою подрібнення сировини включає в себе походження солоду через каменевідбірник, магнітне видалення металічних предметів, перекачування солоду, зважування необхідної кількості засипки та безпосередньо процес подрібнення.

Управління ділянкою затирання включає в себе змішування солоду з гарячою водою при постійному підігріванні. Автоматизовані параметри: контроль за кількістю поданого для затирання солоду, кількість поданої води, температура води, температура сусла, контроль за температурними паузами.

Управління ділянкою фільтрування включає в себе збір первинного сусла та вилуговування дробини за допомогою фільтраційного апарату. Автоматизовані параметри: стікання води з дробини, промивання дробини, контроль за кількістю поданої води, наміванням речовини на фільтри.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Управління ділянкою кип'ятіння включає в себе розчинення та перетворення компонентів хмелю, випаровування води, стерилізацію сусла, знищення усіх ферментів, насичення сусла кольором, підвищення кислотності. Автоматизовані параметри: контроль за кількістю доданого до сусла хмелю, кількість поданої води, температура води.

Управління ділянкою освітлення та охолодження пива включає в себе перекачування гарячого пивного сусла в холодильний чан та безпосереднє охолодження та освітлення пива. Автоматизовані процеси: процес перекачування сусла, вимірювання початкового рівня температури, контроль за зміною температури середовища, контроль за температурою пивного сула, температурні паузи.

Управління ділянкою бродіння включає в себе додавання до сусла дріжджів та часові витримки. Автоматизовані процеси: контроль за кількістю поданих до сусла дріжджів, контроль за часом бродіння, переливання сусла, зняття з осаду, контроль за температурою.

Узагальнена структура системи управління виробництвом пива наведена в документі ІА51.320БАК.005 Е1.

4.3 Розробка структурної схеми ділянки подрібнення

Технологічна ділянка подрібнення складається з млина, що здійснює змішування і попереднє подрібнення інгредієнтів, що поступають з накопичувального бака. З млина суміш передається в накопичувальний бак, в якому слід вимірювати рівень суміші, щоб не допустити його переповнення, а також забезпечити можливість повідомлення підсистеми управління наступною технологічною ділянкою про накопичення достатньої для передачі на наступну ділянку кількості суміші. В накопичувальному баку слід контролювати температуру, щоб запобігти перегріву машини. Також необхідно управляти включенням-виключенням двигуна млина і забезпечити його роботу.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структурна схема системи управління технологічною ділянкою подрібнення представлена в документі ІА51.320БАК.005 Е1.1

4.4 Розробка структурної схеми ділянки затирання

Ділянка затирання пивного сусла включає в себе бак, в якому знаходиться початкове сусло,

З накопичувального бака ділянки затирання суміш поступає в заторний котел через насос. Для управління витратою після клапана необхідно встановити датчик витрати суміші - витратомір. Швидкість подачі суміші в млин регулюється насосом зі змінною продуктивністю.

Для коректного контролю за температурою на заданому рівні заторний котел має бути оснащений датчиком температури.

Після закінчення процедури затирання суміш поступає в накопичувальний бак, оснащений датчиком рівня і датчиком температури.

Структурна схема системи управління технологічною ділянкою затирання представлена в документі ІА51.320БАК.005 Е1.2.

4.5 Розробка та опис алгоритму роботи блока управління процесом затирання

Процес затирання пива складається з декількох підпроцесів. Розглянемо їх детальніше.

На першому етапі затирання в резервуарі з водою нагрівається температура до 40 °С. Після нагрівання води, спрацьовує датчик температури. Якщо температура води відповідає нормам, клапан відкривається та за допомогою насоса вода потрапляє в заторний котел.

На другому етапі, з накопичувального баку ділянки подрібнення іде подача сусла. Відкривається клапан, і за допомогою насоса подрібнене сусла

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перекачується в заторний котел. Після вказаної кількості, клапан подачі закривається, та постачання суслу припиняється.

Температура затирання суслу в заторному котлі повинна бути від 40 до 80 °С. При усьому процесі затирання температуру контролює температурний датчик. Він повинен працювати безперервно, оскільки температурні паузи при такому процесі негативно впливають на кінцевий результат. Процес затирання проходить близько 1-2 годин. При поступовому збільшенні температури контролюється максимально допустима. Коли температура доходить до позначки 80 °С, підігрівач вимикається, а при спаду до заданої, або ж мінімальної температури 40 °С знову вмикається, таким чином контролює постійну її складову.

Після закінчення процесу затирання підігрівач вимикається, відкривається клапан, і за допомогою насоса отримане сусло закачується в накопичувальний бак для подальшого процесу кип'ятіння.

Блок – схему алгоритму роботи блока управління технологічним процесом затирання представлено в документі ІА51.320БАК.005 Д1.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ВИБІР ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ

Для створення системи управління на базі розроблених в попередньому розділі структурних і функціональних схем необхідно вибрати окремі компоненти цієї системи, з яких вона буде побудована. У цьому розділі проведемо огляд можливих варіантів реалізації системи і виберемо найбільш відповідні елементи і вузли.

Оскільки неможливо визначити, що відбувається в даній системі просто подивившись на неї, потрібно вибрати окремі елементи, прилади, за допомогою яких можна буде контролювати процеси. Такими приладами будуть:

- термометр;
- індикатор рівня;
- датчики верхнього та нижнього рівня;
- індикатор тиску;
- витратомір.

Для кожного процесу виробництва потрібно вибрати окремі елементи. Проте, оскільки деякі процеси подібні між собою, можливі випадки використання однакових елементів на різних етапах виробництва.

5.1 Вибір індикатора рівня

Контроль над рівнем можна отримати за допомогою датчиків тиску методом реєстрації та передачі даних про тиск. В сучасних датчиках разом із цим можна отримати і дані про кількість речовини.

Виміряти рівень можна за допомогою:

- різниця тисків (газ/дно);
- розташованих назовні ультразвукових сенсорів;
- тензорезисторного датчика.

Тиск в відділеннях потрібно контролювати, адже в усіх процесах він повинен бути сталим, або ж поступово збільшуватися. Існують два типи

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчиків, якими можна виміряти різницю тисків в резервуарі. Це датчики з типом занурювання всередину та врізні датчики.

Датчик гідростатичного тиску LMP 307i.

Такі датчики використовують для безперервного вимірювання рівня рідин з високою точністю та стабільністю метрологічних характеристик. Такий зонд може бути використаний для вимірювання рівня в середовищах зі змінною температурою, оскільки блок цифрового сигналу додає активну компенсацію до похибки чутливості датчика. [10]

Переваги та особливості:

- використовується для води та речовин, неагресивних до нержавіючої сталі;
- індивідуальне налаштування діапазону вимірювання;
- кабель з пустотілою жилкою для компенсації зміни атмосферного тиску;
- компенсація температурної похибки;
- довгостроковість.

Застосування:

- моніторинг ґрунтових вод;
- водозабезпечення;
- очистка стокових вод;
- вимірювання рівня суміші.

Призначення таких датчиків – системи автоматичного управління, контролю та регулювання технологічними процесами в різних галузях промисловості. Датчик LMP 307 – малогабаритний, але високоточний датчик. Корпус виготовлений з нержавіючої сталі, також в ньому присутня вибухозахисна функція. Живлення таких датчиків здійснюється від іскробезпечних блоків живлення.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики:

- живлення – 10 В;
- 3-провідний вхідний сигнал;
- цифровий інтерфейс – RS 485;
- діапазон – 1:10;
- вага – 250 г.

Врізний датчик рівня LMP 331i

Такі датчики відносяться до датчиків нового покоління. Вони призначені для універсального використання в промисловій галузі виробництва та відповідають високим стандартам точності та стабільності характеристик.

Переваги та особливості:

- довгострокова стабільність калібрувальних характеристик;
- захист від короткого замикання, зміни полярності при підключенні та електричного перепаду;
- індивідуальне налаштування характеристик;
- міцна та надійна конструкція.

Сфера використання:

- вимірювання рівня неагресивних рідин;
- харчова промисловість;
- технології очистки води та стокових вод;
- хімічне та фармацевтичне використання.

Механічна конструкція таких датчиків виконана відповідно до загальних стандартів. В них присутній новий цифровий підсилювач, який створений на основі мікропроцесорних систем. Також тут присутній 16-бітний аналого-цифровий перетворювач, що дозволяє обійтися без використання додаткового аналогового підсилювача.

Блок опрацювання здійснює додаткову компенсацію характеристик елемента, наприклад вплив температури. Саме такий датчик (рис. 5.1) будемо використовувати в нашій системі.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики:

- напруга – 14-28 В;
- 2-провідний вхідний сигнал;
- цифровий інтерфейс RS-232 для регулювання характеристик;
- цифровий інтерфейс RS 485;
- температура вимірювання – 40 – 125 °С.



Рисунок 5.1 – врізний датчик рівня LMP 331i

Ультразвуковий вимірювач ULM-53.

Такий пристрій включає в себе електроакустичний перетворювач і електронний модуль. Підходить для неперервного виміру висоти рівня рідин, стокових вод та ін. як в закритих, так і в відкритих резервуарах.

Особливості:

- налаштування за допомогою двох кнопок;
- оптична індикація стану;

Технічні характеристики:

- напруга – 18 В;
- максимальна температура – 90 °С;
- вага 0.2 кг.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Датчики температури

Датчики температури бувають як аналогові, так і цифрові. Серед аналогових термодатчиків розрізняють термопари і терморезистори. Розглянемо кожен тип окремо.

Термопари призначені для вимірювання температури в досить широких межах. Термопара представляє собою пару провідників з різних матеріалів, які з'єднані на одному кінці. На кінцях провідника, коли вони мають різну температуру, виникає різниця потенціалів, яка є пропорційною різниці температур. При зануренні такого датчика в середовище, ми отримаємо температуру, яка є прямопропорційною до температури на нез'єднаних кінцях.[11]

Недоліками термопар є невелика точність вимірювання, вплив температурних факторів на кінці датчика, внесення поправок при вимірювання температури, вплив струму на результат.

Використання терморезисторів дозволяє уникнути більшості проблем пов'язаних з використанням термопар. Якщо порівнювати терморезистори з термопарами, то вони мають підвищену чутливість до температури, що дозволяє отримати більш точний результат. Основним недоліком терморезисторів можна вважати їх масове виготовлення. При цьому неможливо забезпечити якість кожного виробу. Тому, якщо порівняти два терморезистори, вони можуть суттєво відрізнятися один від одного тими чи іншими характеристиками.

Датчик температури КТУ81 - 210.

Датчики температури серії КТУ81 - 210 мають позитивний температурний коефіцієнт опору і добре підходять для вимірювальних пристроїв, а також для систем контролю і управління. Датчики занурюються в спеціальний освинцьований пластиковий корпус.[11]

Технічні характеристики:

- мінімальна вимірювальна температура -55 °С;

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- максимальна вимірювальна температура – 150 °С;
- точність – 1%;
- опір, що відповідає верхньому порогу: 2140 Ом (при 1мА);
- максимальна сила струму резистора: 10 мА;
- середовище вимірювання – газ, рідина;
- теплова постійна часу – 3с. на відкритому повітрі;

Використання датчика КТУ81-210, представленого на рис. 5.2 потребує додаткових схемних рішень щодо перетворення його сигналу у цифрову форму.



Рисунок 5.2 – Терморезистор КТУ81-210

Thermoscont T.

Цифрові термодатчики, на відміну від аналогових, не потребують додаткових схем та модулів підключення та перетворення, а отже, і їх використання буде більш доцільним. Thermoscont - температурний перетворювач, який призначений для безперервного вимірювання та сигналізації температури з передачею на підключену апаратуру.

Особливості:

- можливість вимірювання температури до 600 °С;
- вбудована внутрішня електроніка;
- простота встановлення та використання;
- висока швидкість спрацьовування та передачі даних;

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- стійкість до вібрацій;

Такий датчик є універсальним, він підходить для роботи з газами та рідинами.

Сфера використання:

- металургія, в т.ч. видобуток руди;
- нафтовидобувна промисловість;
- хімічна промисловість;
- сільське господарство;
- харчова промисловість;

Основні характеристики:

- довжина вимірювального елемента – до 3 м;
- 2 класи точності вимірювання;
- допустимий тиск – до 25 бар;
- напруга живлення – 10-36 В;
- захист корпусу класу IP65;
- вимірювальна температура в межах $-50...+600\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- допустима температура експлуатації $-20...+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Принцип роботи такого датчика: вимірювальний елемент занурюють в вимірювальне середовище, термометр фіксує температуру в даний момент часу. Електронний блок датчика перетворює отримане значення в електричний сигнал та передає інформацію на підключений прилад.

Недоліками такого датчика (рисунок 5.3) є його висока вартість, надлишковість роботи, через непотрібну можливість вимірювання високої температури.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рисунок 5.3 – температурний датчик Thermocont T

Розглянемо герметичний датчик температури DS18B20. Як видно з назви, цей датчик побудований на основі мікросхеми DS18B20. Він допомагає визначити температуру середовища та отримує данні у вигляді цифрового сигналу з 12-бітним розширенням по 1-Wire протоколу. За допомогою цього протоколу можна під'єднати велику кількість таких датчиків, використовуючи лише один порт контролера. В постійній пам'яті можна зберігати граничні значення температури, при досягненні яких датчик буде переходити в режим тривоги.[12]

Особливості:

- не потребує зовнішніх компонентів;
- можливість спрощеного розподілення на одній шині багатьох датчиків температури;
- визначення користувачем енергозалежних налаштувань сигнальних параметрів;
- використовується в приладах термостатичного контролю, промислових системах, термометрах.

Характеристики:

- нижня гранична температура – 55 °С;
- верхня гранична температура – 125 °С;
- точність – 0,5 °С;
- час отримання даних – 750 мс;
- напруга живлення – 3-5,5 В;
- потрібна сила струму – 1мА.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, датчик температури, зображений на рисунку 5.4, буде доцільним вибором для нашої системи.



Рисунок 5.4 – герметичний датчик температури DS18B20

5.3 Вибір індикатора тиску

Датчик тиску РА 430

Такий індикатор може використовуватись в будь-якій автоматизованій системі управління, оскільки він достатньо стійкий до механічного впливу. Підключення індикатора можливе до будь – якого приладу з вихідним сигналом 4-20 мА. Дисплей встановлюється безпосередньо на датчик та не потребує додаткового живлення. Налаштування за допомогою кнопок на передній панелі. Після встановлення можливе регулювання положення дисплею.[13]

Сфера використання – системи автоматичного контролю та управління в будь – якій сфері промисловості.

Технічні характеристики:

- вхідний сигнал при 2-проводному з'єднанні – 4-20 мА;
- вхідний сигнал при 3-проводному з'єднанні – 10 В;

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- захист від короткого замикання;
- вплив температури – 0.1 %;
- опір ізоляції - >100 Ом;
- температурний діапазон – до 85 °С;
- кут повороту корпусу – до 300 град;
- захист блоку;
- клас захисту IP 65;
- компактний дизайн;
- світлодіодний дисплей – 1999 +9999;
- вільне масштабування.

Корпус та дисплей індикатора, зображеного на рисунку 5.5, можуть бути повернені навколо своєї осі.



Рисунок 5.5 – індикатор тиску РА 430

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

5.4 Вибір датчика верхнього та нижнього рівнів

Такі датчики можуть бути використані для вимірювання рівнів води в закрити резервуарах методом порівняння. Існують два типи таких датчиків:

- поплавкові;
- електричні.

Розглянемо ці датчики детальніше.

Поплавкові датчики набули широкого поширення через простоту побудови та високу точність вимірювання. Основними елементами таких датчиків є поплавок, передавальний механізм та реєструвальний пристрій.

Принцип роботи:

- поплавковий пристрій занурюється в речовину;
- фіксація поплавка на поверхні речовини;
- при зміні рівня речовини, між магнітами, розташованими всередині та ззовні, виникає взаємодія з контактним приладом;
- при досягненні речовиною верхнього положення, контакт замикається.

Поплавковий датчик F6-MHS (рисунок 5.6) має високі характеристики міцності та високі температурні границі. Він підходить для контролю рівня води в замкнутій системі. Може використовуватися для вимірювання рівня рідини з вмістом в ній металевих та інших частинок. Розглянемо такий датчик детальніше:

Сплав корпусу виготовлений з нержавіючої сталі, тобто його можна занурювати майже в будь – яку рідину, він добре взаємодіє з хімічними розчинами та гарячими рідинами.[14]

Характеристики:

- граничний тиск – від 3 до 20,7 бар;
- нижня границя температури – 80 °С;
- верхня границя температури – 200 °С;
- вимоги до живлення – 0,08 А при 240 В змінного струму;

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вхідна сила струму – 20 А;
- вага – 95 г.



Рисунок 5.6 – датчик F6-MHS

До електричних рівнемірів відносяться:

- електроконтактні;
- кондуктометричні;
- ємнісні.

Електроконтактні датчики (сигналізатори) рівня працюють наступним чином:

- сигналізатор плавно опускають в контейнер;
- при досягненні рівня рідини контакти замикаються;
- сигнал по електричному електропровідному кільці передається до реєстратора.

Завдяки високій точності та простоті конструкції, такі датчики набули широкого обігу в промислових підприємствах.

Розглянемо електричний датчик серії SBLT2 (рисунок 5.7). Такий сигналізатор розробляється для безаварійної роботи в обслуговуванні протягом

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

багатьох років. Максимальна глибина занурення такого датчика – 240 метрів, що лише підтверджує його надійність та роботоспроможність.[14]

Сфера використання:

- моніторинг рівня рідини в закритих резервуарах;
- моніторинг ґрунтової води;
- відновлення навколишнього середовища;
- моніторинг поверхневої води;

Особливості сигналізатора:

- хімічна сумісність;
- захист від короткого замикання;
- присутній вентиляційний фільтр;
- іскробезпечність;
- компактна конструкція.

Технічні характеристики:

- точність – 0,25%;
- нижня границя температури – 18 °С;
- верхня границя температури 80 °С;
- глибина занурення – до 240 метрів;
- час відгуку – 50 мсек;
- вага – 1 кг.

Такий сигналізатор ідеально підходить для нашої системи, оскільки його характеристики, порівняно з іншими, краще відповідають умовам для нашої системи, а саме:

- компактні розміри;
- надійність;
- ефективність;
- високоточність.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 5.7 – Сигналізатор SBLT2

5.5 Вибір витратоміра

Витратомір – один з найважливіших елементів контролю в нашій системі. Він використовується в процесах затирання, кип'ятіння, охолодження та фільтрування. Розглянемо декілька моделей.

Витратомір GE Sensing AquaTrans AT600.

Такий витратомір (рисунок 5.8) призначений для встановлення в місцях з повністю заповненими трубами, тобто потоком рідини з великим тиском. Він не має рухомих деталей та майже не потребує технічного обслуговування. Адаптований до різкої зміни речовини без втрати контрольованих даних. [15]

Сфера використання:

- питна вода;
- стокові води;
- каналізаційні водостоки;
- перероблена вода;
- промислові рідини;
- вода для зрошування.

Особливості витратоміра:

- безконтактна зміна витрат;
- простий монтаж та демонтаж;

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- можливість примінення для труб різного розміру;
- накладні ультразвукові перетворювачі.

Характеристики:

- тип рідини – всі, окрім кислотних;
- часовоімпульсний метод зміни витрат;
- розмір труб – від 50 до 600 мм;
- матеріал труб – всі метали та більшість пластмас;
- точність – 1% від показів;
- можливі зміни параметрів – швидкість, загальні витрати;
- число каналів – 1;
- потрібна потужність – 5 В при роботі, 10 при запуску;
- робоча температура – від -20 °С до 55 °С.

До недоліків таких витратомірів можна віднести високу цінову категорію, оскільки витратомір ультразвуковий та високоточний, неможливість вимірювання витрат рідини в потоці газоподібної суміші, наприклад нафти.



Рисунок 5.8 – Витратомір GE Sensing AquaTrans AT600

Наступним розглянутим витратоміром буде тахометричний витратомір. Такий витратомір зазвичай має рухомий елемент, швидкість обертів якого

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

пропорційна об'єму витрат. Принцип дії – керування обертанням рухомого апарату, тим самим контролюючи кількість рідини.

Тахометричний витратомір СВ-15

Такий витратомір (рисунок 5.9) використовується для вимірювання кількості питної води, гарячої води або інших рідин, які протікають в трубах. Можливе використання як після встановлення, так і після демонтажу.

Сфера використання:

- промисловий контроль за холодною та гарячою водою;
- контроль кількості рідини в металевих та пластмасових трубах.

Характеристики:

- захищений від зовнішніх дій;
- нижня робоча температура холодної води 5 °С;
- верхня робоча температура холодної води 40 °С;
- нижня робоча межа гарячої води 5 °С;
- верхня робоча межа гарячої води 90 °С;
- максимальний тиск води – не більше, ніж 1 Мпа;
- робочий час без перевірки (холодна вода) – 6 років;
- робочий час без перевірки (гаряча вода) – 4 роки.



Рисунок 5.9 – витратомір СВ-15

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Витратомір OPTASWIRL 4200.

Такий витратомір (рисунок 5.10) є вихровим витратоміром, який призначений для примінення в секторах енергетики та системах управління енергоспоживанням. Насамперед, його використовують для вимірювання витрат води, сухих або вологих газів. Всередину в нього вбудовано датчик температури.

Сфера використання:

- використання загального призначення в секторі енергетики;
- вимірювання рідин, газів, пару;
- зміна сумарної теплової пару або гарячої води;
- моніторинг роботи компресорів;
- вимірювання споживання в системах стисненого повітря;
- хімічна або харчова промисловість;
- металургія

Особливості витратоміра:

- компактне виконання;
- універсальний пристрій для різних робочих умов;
- вбудоване обчислення сумарної та корисної теплової енергії;
- удосконалена технологія фільтрації сигналів;
- можливий відсічний клапан для демонтажу приладу;
- можливе керування кількістю рідини;
- поєднання різних параметрів вимірювання та контролю.

Навідміну від традиційних вихрових витратомірів, OPTISWIRL 4200 дозволяє поєднати зміну витрат, температури та тиску, а також обчислення теплової енергії в одному пристрої. Це дозволяє зекономити приблизно 45% від монтажних витрат та досягнути підвищення загальної системної точності вимірювання.

Технічні характеристики:

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- максимальна температура контрольованої речовини – 240 °С;
- вбудоване вимірювання тиску та температури;
- двопроводний режим з'єднання;
- з'єднання з пристроями з силою струму – 4-20 мА.



Рисунок 5.10 – витратомір OPTASWIRL 4200

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

Для створення системи і окремих її компонентів необхідно провести ряд розрахунків, які дозволять обрати номінали деяких елементів а також підтвердити їхню працездатність.

6.1 Розрахунок вибору елементів підключення

Для отримання сигналу з термодатчика його слід підключати в дільник напруги.

Номінальний струм крізь датчик температури 2мА. Напруга живлення дільника напруги складає +5В. тоді, згідно закону Ома, номінальний опір дільника напруги має бути приблизно $+5\text{В}/(2 \cdot 10^{-3})\text{А}=2500\text{Ом}$.

- Діапазон температур термодатчика складає $-55 \dots +150 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Значення опору термодатчика на нижньому кордоні температури 1980Ом;
- Значення опору термодатчика на верхньому кордоні температури 2140Ом;
- Температурний коефіцієнт опору термодатчика 0.7805;
- Діапазон вимірювання температури складає $+40 \dots +80 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Середина діапазону вимірювання $+60 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

Опір датчика температури при температурі $+60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ складає:

$$1980 + (+60 - (-55)) \cdot 0.7805 = 1635.14 \text{ Ом.}$$

Відповідно до закону Ома сумарний опір резисторів R1 і R2 мають дорівнювати також 1635,14Ом.

Опір резистора R1 слід обрати трохи меншим 2кОм, а резистора R2 таким, щоб його половина в сумі дорівнювала 1635,14Ом. Використавши номінальний ряд резисторів E96 оберемо R1 номіналом 1,47кОм, а R2 165Ом.

Мале значення номіналу резистора R2 дозволить більш плавно змінювати напругу на виході дільника.

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

7.1 Дослідження стійкості системи

Розглянемо окремий процес системи управління виробництвом пива, а саме процес подачі води при затиранні сусла. З довідникової літератури взято передавальні функції контуру системи, а саме:

- $W_M(s) = \frac{1}{6s + 1}$ - передавальна функція механізму керування;
- $W_{OK}(s) = \frac{16}{12s + 1}$ - передавальна функція об'єкту керування;
- $W_P(s) = 1$ - загальна передавальна функція датчиків та підсилювачів.

В нашому випадку датчики керування не задають ніякого впливу системі, тому ми можемо ними просто знехтувати.

Схема контуру системи, побудовано в середовищі MatLab (рисунок 7.1)

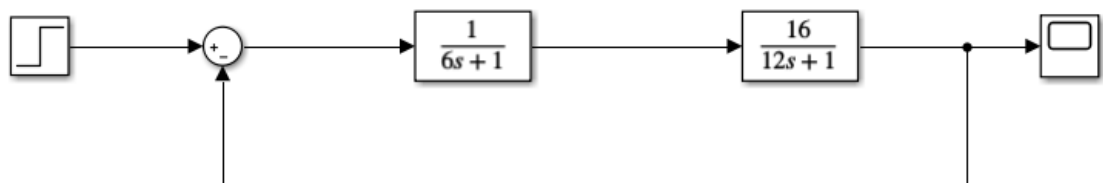


Рисунок 7.1 - Схема контуру системи

Знайдемо перехідну характеристику об'єкта керування. Перехідна характеристика - це реакція ланки системи на одиничний стрибок. Вона знаходиться за формулою:

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{W(s)}{s}\right\} \quad (7.1)$$

L – оператор перетворення Лапласа.

Результат моделювання можна побачити далі (рисунок 7.2).

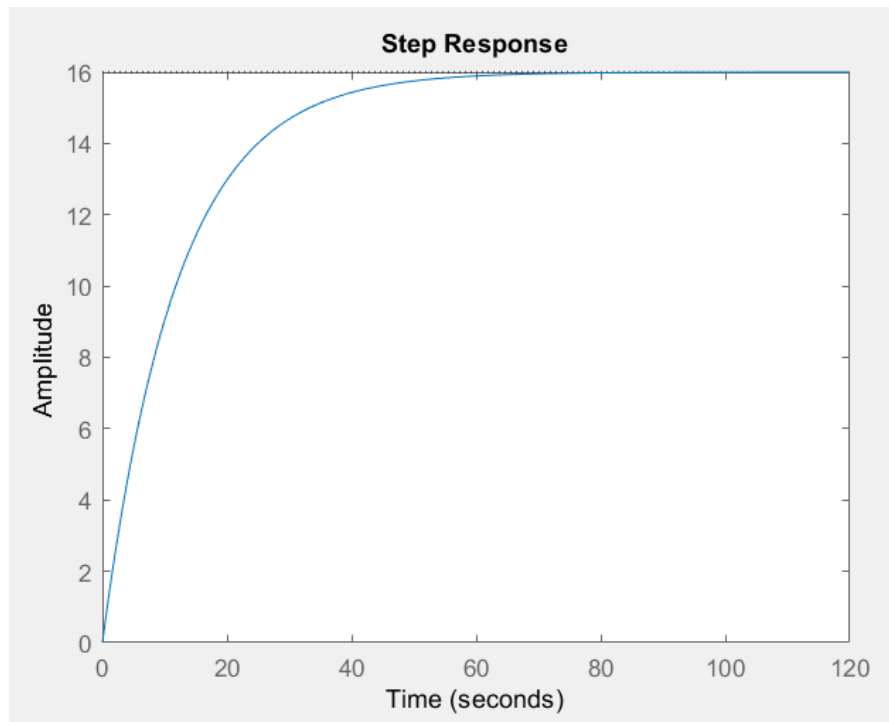


Рисунок 7.2 – перехідна характеристика об'єкта керування

Імпульсна характеристика - це реакція ланки системи на дельта-функцію.
Загальна формула 7.2 знаходження імпульсної характеристики:

$$\omega(t) = L^{-1} W(s) \quad (7.2)$$

L – оператор перетворення Лапласа.

Результат моделювання можна побачити далі (рисунок 7.3).

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

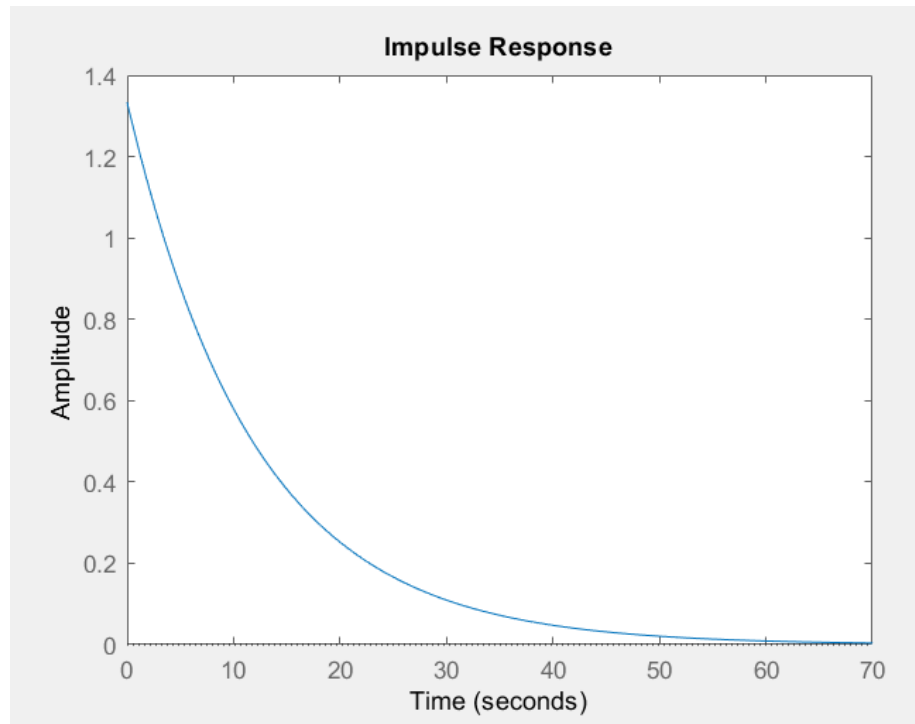


Рисунок 7.3 – Імпульсна характеристика

Частотна характеристика

Частотна характеристика зображується у вигляді амплітудо-фазо-частотної характеристики (АФЧХ). АФЧХ - це крива, що описується кінцем вектору комплексної передавальної функції при зміні частоти ω від 0 до $+\infty$. Амплітудно-фазово-частотна характеристика системи показана далі (рисунок 7.4).

За умовою:

- нахил – 0 дБ/декаду;
- рівень – $20\lg k = 20\lg 12 = 21.6$;
- спряжена частота – $1/T = 1/16 = 0.075$.

Фазова характеристика:

$$\varphi(\omega) = -\arctg(T\omega) = -\arctg(0,075\omega), \quad (7.4)$$

де $T = 0,075$ – спряжена частота.

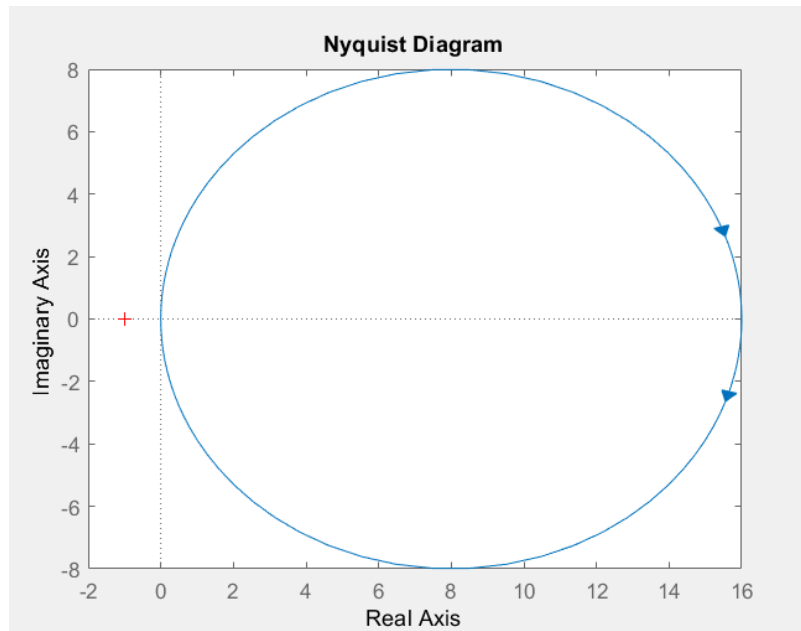


Рисунок 7.4 – Амплітудно-фазово-частотна характеристика

Логарифмічна частотна характеристика зображується у вигляді логарифмічної амплітудно-фазо-частотної характеристики (ЛАФЧХ). ЛАФЧХ будується на логарифмічній сітці по передавальній функції системи. Результат (рисунок 7.5).

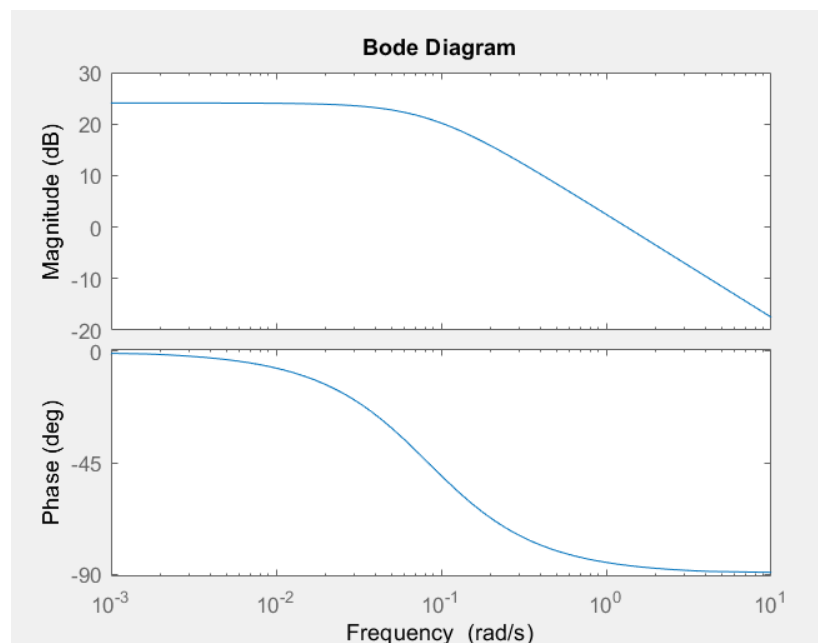


Рисунок 7.5 – ЛАФЧХ

Якість САУ - це показник перехідного процесу і помилка в сталому. За допомогою моделювання в MatLab, отримуємо перехідну характеристику системи. Визначимо показники якості перехідного процесу за перехідною характеристикою системи (рисунок 7.6).

Для проведення аналізу стійкості, необхідно використати два методи перевірки. Такими методами є застосування критеріїв Гурвіца та Михайлова. Знайдемо передавальну функцію розімкненої системи. Вона матиме вигляд:

$$W_p(s) = W_{\text{вв}}(s) * W_{\text{оо}}(s) = \frac{1}{6s+1} * \frac{16}{12s+1} = \frac{16}{72s^2 + 18s + 1}.$$

Передавальна функція замкненої системи:

$$W_z(s) = \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)} = \frac{16}{72s^2 + 18s + 17}.$$

Характеристичний поліном матиме вигляд:

$$D(s) = 72s^2 + 18s + 17.$$

За методом Гурвіца:

Оскільки характеристичний поліном – поліном другого порядку, тоді умова стійкості – коефіцієнти повинні бути більші нуля. Розглянемо:

$$a_2 = 17 > 0, a_1 = 18 > 0, a_0 = 72 > 0$$

Оскільки коефіцієнти характеристичного поліному більші нуля, система є стійкою.

За методом Михайлова:

Система є стійкою, якщо при зростанні частоти нулі уявної та дійсної функції чередуються. Характеристичний поліном:

$$D(s) = 72s^2 + 18s + 17.$$

Комплексний вигляд даного поліному матиме вигляд:

$$D(j\omega) = 72\omega^2 + 18\omega + 17.$$

Необхідно виділити дійсну та уявну частини. Маємо:

$$U(\omega) = 17 - 72\omega^2,$$

$$V(\omega) = 18\omega.$$

Нулі дійсної частини:

$$U(\omega) = 17 - 72\omega^2 = 0,$$

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{17}{72}} = \pm 0,4859.$$

Нулі уявної частини:

$$18\omega = 0 \Rightarrow \omega_1 = 0.$$

Для перевірки чергування нулів побудуємо таблицю. Результати показані нижче (таблиця 7.1).

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.1 – Результат перевірки стійкості методом Михайлова

ω	-0,4859	0	0.4859
$V(\omega)$	0	-	0
$U(\omega)$	-	0	-

В таблиці 7.1 показано, що при збільшенні частоти ω нулі уявної $V(\omega)$, та дійсної $U(\omega)$ частин чергуються, отже система є стійкою.

Наша система побудована без використання регулятора. Знайдемо її основні показники якості (рисунок 7.6):

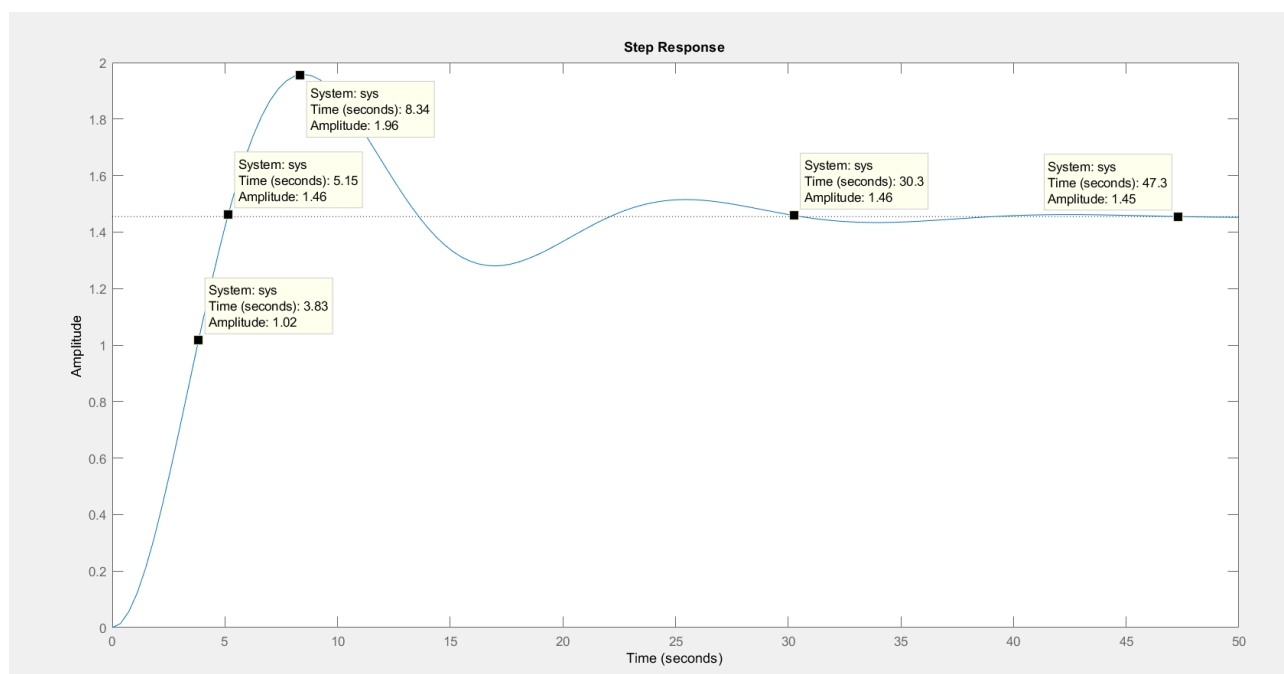


Рисунок 7.6 – Перехідна характеристика без регулятора

Показники якості системи:

$$h_{\max} = 1.96;$$

$$h_{\text{уст}} = 1.45;$$

$$t_{\text{уст}} = 5.15 \text{ с};$$

$$t_{\text{рег}} = 30.3 \text{ с};$$

$$\delta = \frac{h_{\max} - h_{\text{cm}}}{h_{\text{cm}}} * 100\% = \frac{0.51}{1.45} * 100\% = 35.2\% .$$

7.2 Синтез системи

Для поліпшення отриманих результатів необхідно покращити систему регулювання. Для цього, до нашої системи необхідно під'єднати цифровий регулятор. Для синтезу систем такого типу найкраще підходить пропорційно – інтегрально – диференціальний регулятор, далі (ПІД – регулятор).

Передавальна функція ПІД – регулятора, формула 7.3:

$$W_{\text{ПІД}}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s, \quad (7.3)$$

K_p – коефіцієнт пропорційності,

K_i – коефіцієнт інтегральної частини,

K_d – коефіцієнт диференціальної частини.

Для побудови такої системи необхідно знайти передавальні функції замкненої та розімкненої систем. Маємо:

$$W_z(s) = \frac{W_{\text{роз}}(s)}{W_{\text{роз}}(s) + 1} = \frac{16K_d s^2 + 16K_p s + 16K_i}{72s^3 + (16K_d + 18)s^2 + (16K_p + 1) + 16K_i}$$

$$W_{\text{роз}}(s) = W_{\text{ПІД}}(s) * W_{\text{от}}(s) = (K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s) * \frac{16}{72s^2 + 18s + 1} = \frac{16K_d s^2 + 16K_p s + 16K_i}{72s^3 + 18s^2 + 1}$$

Запишемо характеристичний поліном замкненої системи. Маємо:

$$D(s) = 72s^3 + (16K_d + 18)s^2 + (16K_p + 1) + 16K_i, \text{ звідси}$$

$$D(s) = s^3 + (\frac{2K_d}{9} + \frac{1}{4})s^2 + (\frac{2K_p}{9} + 72)s + \frac{2K_i}{9}.$$

Запишемо характеристичний поліном в загальному вигляді. Маємо:

					ІА51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s^3 + 3\eta * s^2 + 3\eta^2 * s + \eta^3,$$

де η – запас стійкості.

Знайдемо:

$$\frac{2K_i}{9} = \eta^3 \Rightarrow K_i = \frac{9\eta^3}{2};$$

$$\frac{2K_p}{9} + \frac{1}{72} = 3\eta^2 \Rightarrow K_p = (3\eta^2 - \frac{1}{72}) * \frac{9}{2};$$

$$\frac{2K_d}{9} + \frac{1}{4} = 3\eta \Rightarrow K_d = (3\eta - \frac{1}{4}) * \frac{9}{2}.$$

Визначимо коефіцієнти ПД-регулятора при запасі стійкості $\eta = 2$:

$$K_i = 36;$$

$$K_p = 26.9;$$

$$K_d = 25.9.$$

Для точної перевірки отриманих результатів необхідно побудувати систему з ПД-регулятором, та порівняти отримані показники. Побудована система (рисунок 7.7) має вигляд:

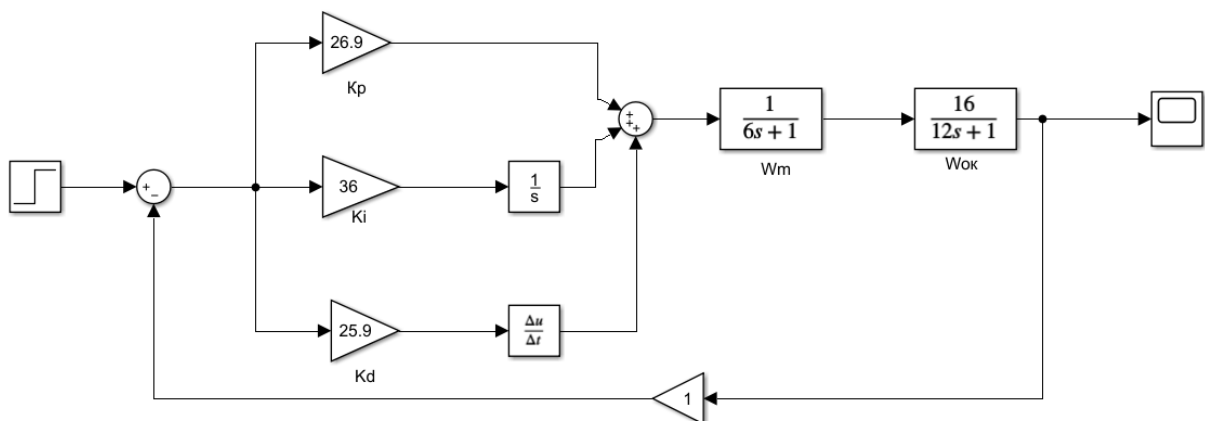


Рисунок 7.7 – Система з ПД - регулятором

Подивившись на результати (рисунок 7.8) можна побачити, що наша система значно покращилась. Розглянемо отримані результати докладніше (рисунок 7.9).

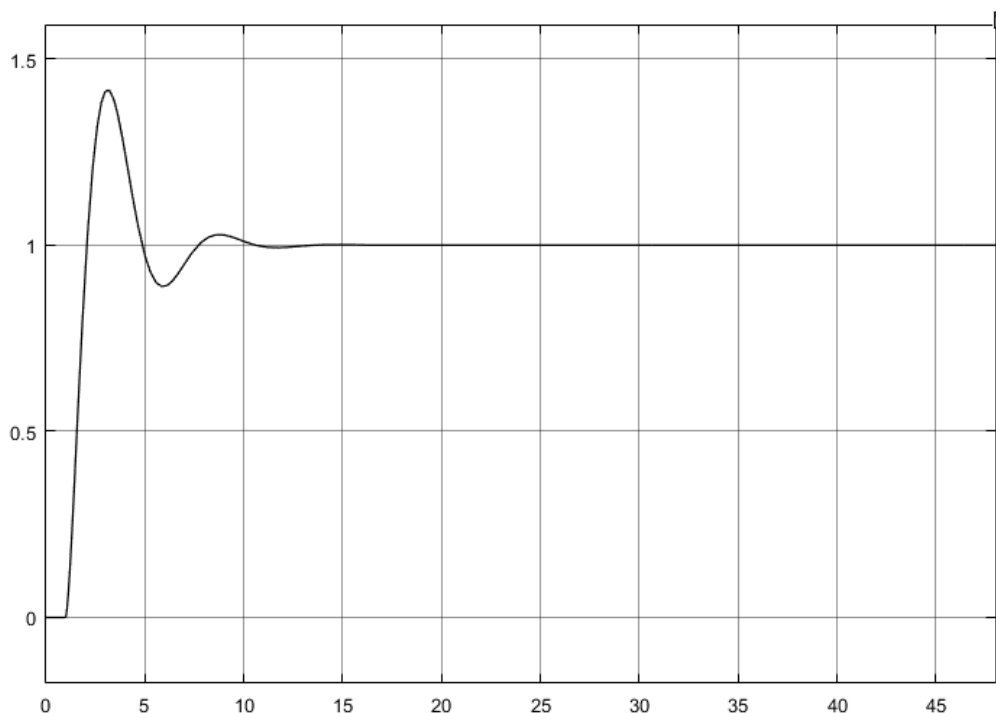


Рисунок 7.8 – Результат моделювання системи з ПІД-регулятором

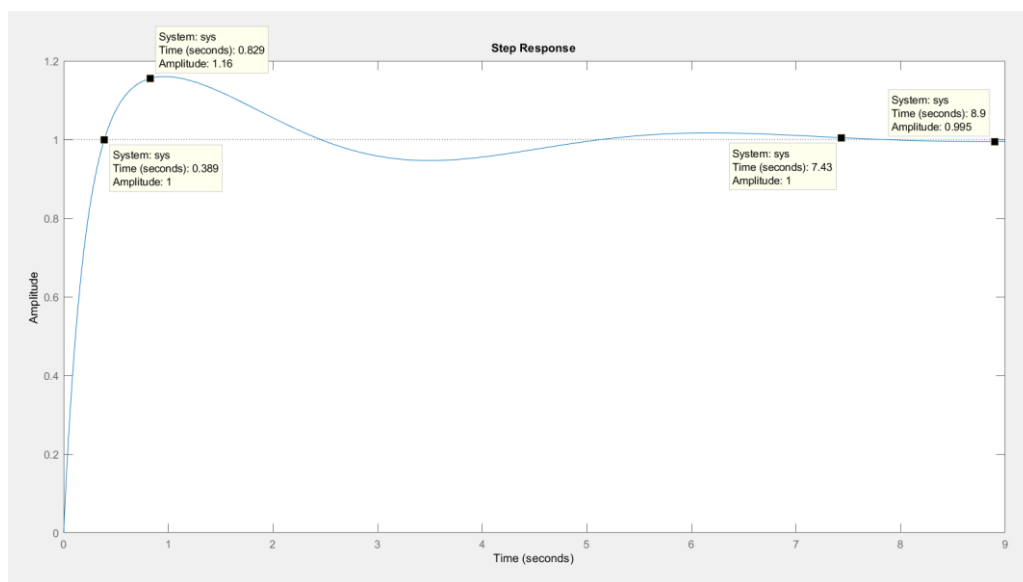


Рисунок 7.6 – Перехідна характеристика системи

Отже, ми отримали наступні показники:

$$h_{\max} = 1.16;$$

$$h_{\text{уст}} = 1;$$

$$t_{\text{уст}} = 0,4 \text{ с};$$

$$t_{\text{рег}} = 7,43 \text{ с};$$

$$\delta = \frac{h_{\max} - h_{\text{см}}}{h_{\text{см}}} * 100\% = \frac{0.16}{1} * 100\% = 16\% \text{ - перерегулювання.}$$

Для порівняння результатів побудуємо таблицю 7.2. Маємо:

Таблиця 7.2 – Порівняння показників регулювання

Показник якості	Система без регулятора	Система з регулятором
h_{\max}	1.96	1.16
$h_{\text{уст}}$	1.45	1
$t_{\text{уст}}$	5.15	0.4
$t_{\text{рег}}$	30.3	7.43
$\delta, \%$	35.2	16

Порівнявши отримані результати, можна зробити висновок, що усі якісні показники системи покращилися. Синтез ПД-регулятора покращує не лише якість роботи, але й швидкість, що є важливою характеристикою в нашій системі. Це забезпечить рівну подачу води в систему в потрібний момент часу, що напряду впливає на якість пивного продукту на виході.

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання дипломного проекту розроблено автоматизовану систему управління виробництвом пива, характеристики якої повністю відповідають поставленій задачі.

Система дає змогу злагоджено управляти всіма процесами ділянок виробництва пива від змішування зернових культур до отримання готового кінцевого продукту, тобто пива. Також, система дає можливість контролювати не лише якість процесів, а й забезпечує економічну складову.

У дипломному проекті розроблена узагальнена структурна схема управління виробництвом пива та деяких складових процесів. Основним з таких процесів є затирання пива. Також, було розроблено структурну схему управління системою в цілому.

Підсистему затирання пива було удосконалено, методом синтезу ПІД-регулятора внутрішнього контуру ділянки та показано результати роботи. Також були обрані потрібні елементи управління та контролю за процесами.

Також в розробленій системі передбачена можливість розширення системи, шляхом підключення до неї різних нових компонентів, які можуть здійснювати додаткові функції, а також управління і контроль практично будь-яких об'єктів і їх параметрів. Отримана система може бути легко інтегрована до структури системи управління підприємством.

					IA51.320BAK.005 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Beer 101: The Fundamental Steps of Brewing [Електронний ресурс] // Editorial dept.. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://beerconnoisseur.com/articles/beer-101-fundamental-steps-brewing>.
2. Beer & Ale. Всё о пиве и эле [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.beerale.ru/pivnye-komponenty.html>.
3. Виноделие как искусство [Електронний ресурс]. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <http://wine.historic.ru/>.
4. Вольфганг К. Технологія солоду та пива / Кунце Вольфганг. – м. Гамбург, 2001.
5. Температурні паузи при затиранні солоду для пива [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kraspivo.ru/temperaturnyie-pauzyi-pri-zatiranii-soloda-dlya-piva/>.
6. Агромаш [Електронний ресурс]. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: http://www.agro-mash.ru/00204_zatorn_chan.html.
7. Технология кипячения сусла в пивоварении [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.comodity.ru/beer/beerwort/18.html/>
8. Брожение пива [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.homedistiller.ru/faq-brojenie-piva.htm>.
9. Устройство и принцип работы пластинчатого теплообменника [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://engineering-ru.livejournal.com/266367.html>.
10. Датчики уровня БД Сенсорс. Уровнемеры [Електронний ресурс] // ООО "БД Сенсорс" – Режим доступу до ресурсу: <http://www.bdsensors.ua/products/level.php>.
11. Кремниевые датчики температуры серии КТУ81. Характеристики, применение. [Електронний ресурс] // 2016 – Режим доступу до

					IA51.320БАК.005 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресурсу: <http://mypractic.ru/kremnievye-datchiki-temperatury-serii-kty81-xarakteristiki-primenenie.html>.

12. Герметичный датчик температуры DS18B20 [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://amperka.ru/product/sealed-temperature-sensor-ds18b20>.
13. РА 430 Цифровой индикатор для датчиков давления [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://rosma.spb.ru/avtomatika/pa_430/.
14. РЕЛЕ УРОВНЯ ВОДЫ, ЖИДКОСТИ, СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ [Электронный ресурс] // ООО "ОЛИЛ" – Режим доступа до ресурсу: <https://dwyer.ru/catalog/rele-urovnya>.
15. Расходомер GE Sensing AquaTrans AT600 [Электронный ресурс] // Пергам-Украина, г. Киев.. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.pergam.ua/catalog/pci/flowmeters/aquatrans-at600.htm>.
16. Вихревые расходомеры [Электронный ресурс] // KRONHE – Режим доступа до ресурсу: <https://ua.krohne.com/ru/pribory/izmerenie-raskhoda/raskhodomery/vikhrevye-raskhodomery/optiswirl-4200>.